

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-096704

(43)Date of publication of application : 09.04.1999

(51)Int.Cl. G11B 21/10  
G05B 11/36  
G05B 13/02  
G05D 3/10  
// H02P 5/00

(21)Application number : 09-258442

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH  
CORP <IBM>

(22)Date of filing : 24.09.1997

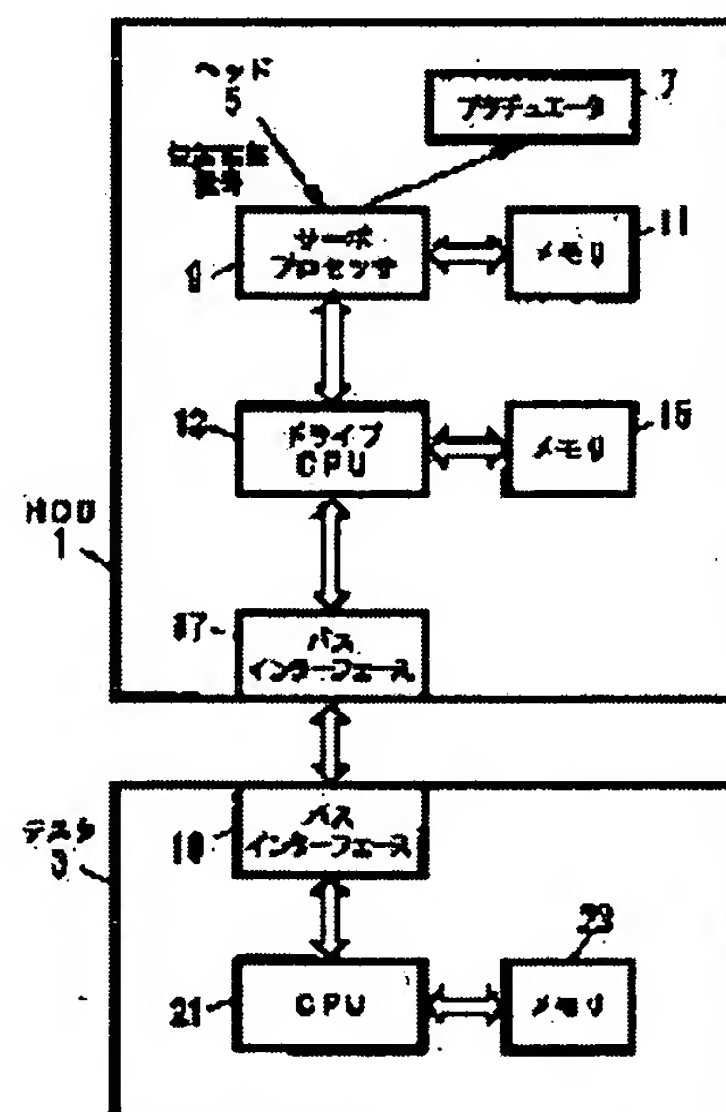
(72)Inventor : SENBA TETSUO  
KAGAMI NAOYUKI  
TOKIZONO AKIRA

(54) METHOD AND DEVICE FOR LEADING OUT FREQUENCY CHARACTERISTIC, METHOD AND DEVICE FOR SETTING NOTCH FILTER, NOTCH FILTER ADJUSTMENT METHOD, CONTROLLER AND DISK RECORDER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To stably perform feedback control even when mechanical resonances exist in plural frequencies in a hard disk device. etc., performing positioning control by selecting an optimum notch filter so that the useless peak of an open loop gain is lowered based on the shape of a transfer function without directly measuring the frequency at the peak of the transfer function.

SOLUTION: Notch filters having a fixed phase delay in a control band frequency and having different central frequencies in the vicinity of the frequency that mechanical resonance desired to be suppressed exists are obtained beforehand by calculation to be stored in a memory 23. A CPU 21 selects two notch filters from the memory 23 and sets these coefficients successively in the notch filters in a servo processor 9. A drive CPU 13 injects a sine wave into the servo processor 9 at every frequency of a prescribed interval to transmit a position error signal to the CPU 21. Thus, the CPU 21 calculates the frequency characteristics of control loops containing the notch filters to set the optimum notch filter.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

20.01.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

**BEST AVAILABLE COPY**

特開平11-96704

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月9日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	F I	
G 1 1 B 21/10		G 1 1 B 21/10	U
G 0 5 B 11/36	5 0 1	G 0 5 B 11/36	5 0 1 E
	13/02		S
G 0 5 D 3/10		G 0 5 D 3/10	E
// H 0 2 P 5/00		H 0 2 P 5/00	K
審査請求 有 請求項の数21 O L (全 17 頁)			

(21) 出願番号 特願平9-258442

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月24日

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 仙波 哲夫

神奈川県大和市下鶴間1623番地14 日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所内

(74) 代理人 弁理士 坂口 博 (外1名)

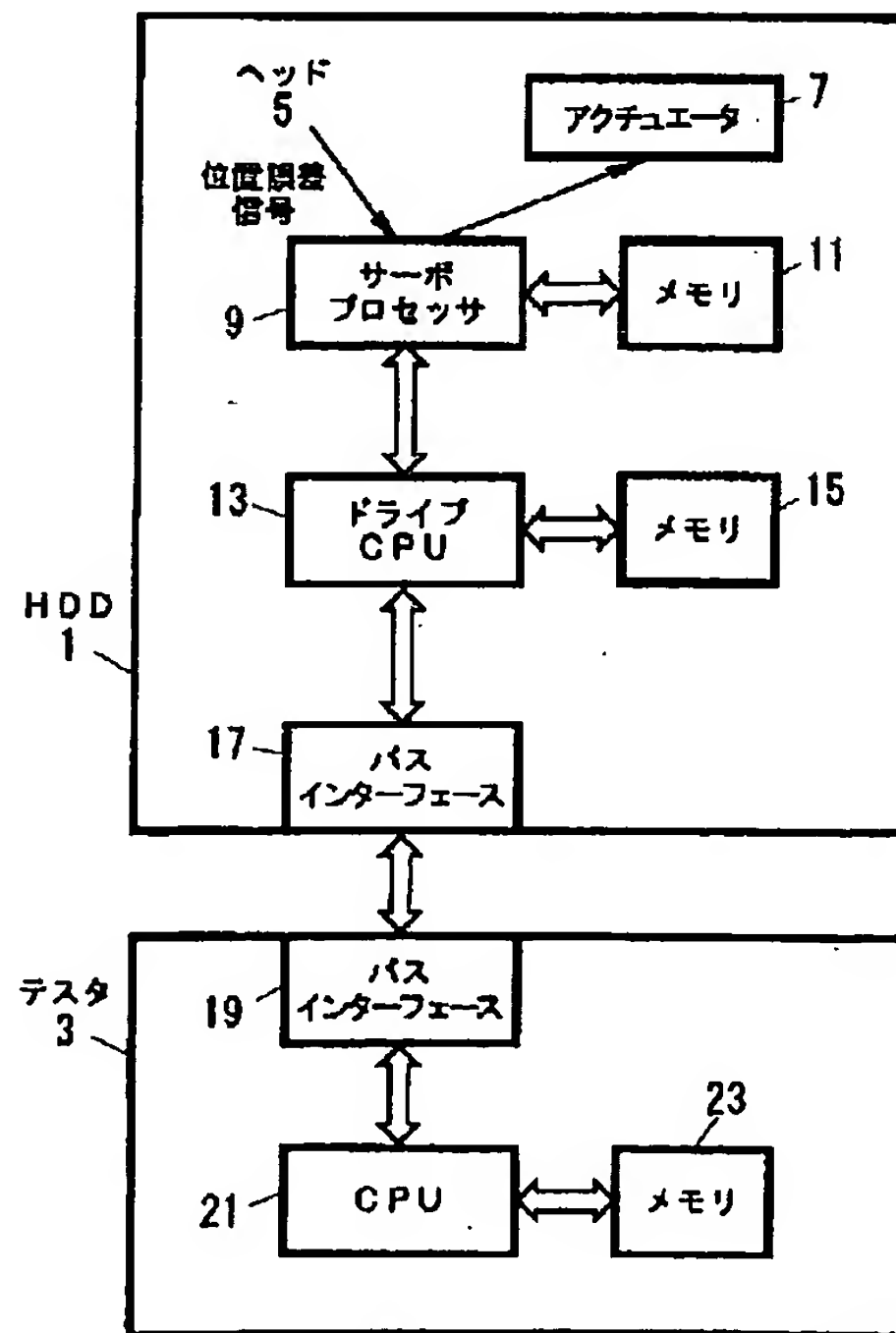
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 周波数特性導出方法及び装置、ノッチフィルタ設定方法及び装置、ノッチフィルタ調整方法、制御装置、並びにディスク記憶装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ハードディスク装置などに複数周波数の機械的共振存在時も、最適なノッチフィルタ選択により安定なフィードバック制御を実現する。

【解決手段】 機械的共振周波数近傍に中心周波数をもつ2種類の異なる任意のノッチフィルタを別々に位置決め制御を行う装置の位置決めサーボ系に挿入し、測定した2種類の開ループゲインの周波数特性から、ノッチフィルタの中心周波数近傍以外の周波数特性と、該特性からノッチフィルタの特性を除いた開ループゲインの周波数特性を計算で合成し、該周波数特性に仮のノッチフィルタの周波数特性をかけ、仮のノッチフィルタ使用時の開ループゲインの周波数特性を計算による推定周波数特性と基準特性とを比較し、各周波数での最小距離を、仮定したノッチフィルタ性能とし、着目周波数とする。中心周波数が異なり、サーボ帯域周波数で同じ位相遅れのノッチフィルタから、複数のノッチフィルタを選び設定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】制御ループの周波数特性を導出する方法であって、

導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{\min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{\min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  を中心周波数とする第 1 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を、導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  ( $f_{\max} > f_3$ ) の間について導出するステップと、

前記第 1 ノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記第 1 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記第 1 ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第 1 の部分を計算するステップと、

前記最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  を中心周波数とする第 2 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を、前記最小周波数  $f_{\min}$  と前記周波数  $f_3$  の間について導出するステップと、

前記第 2 ノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記第 2 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記第 2 ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第 2 の部分を計算するステップと、

前記制御ループの周波数特性の第 1 の部分及び第 2 の部分を合成するステップと、  
を含む周波数特性導出方法。

【請求項 2】制御ループ中に設けられるノッチフィルタの設定を行う方法であって、

前記ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性を導出する導出ステップと、

特定の周波数を中心周波数とする第 1 ノッチフィルタの周波数特性と前記ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性から前記第 1 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を計算し、前記第 1 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離のうち最小距離を検出する検出ステップと、

必要な周波数帯の中で前記第 1 ノッチフィルタの中心周波数を変化させ、前記検出ステップを実施するステップと、

検出された複数の前記最小距離の中から最大値を見出し、当該最大値を検出した際の第 1 ノッチフィルタの中心周波数を、前記制御ループ中に設けられるノッチフィルタに設定するステップと、

を含むノッチフィルタ設定方法。

【請求項 3】前記導出ステップが、

導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{\min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{\min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  を中心周波数とする第 2 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を、導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  ( $f_{\max} > f_3$ ) の間について導出するステップと、

前記第 2 ノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記第 2 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記第 2 ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第 1 の部分を計算するステップと、

前記最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  を中心周波数とする第 3 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を、前記最小周波数  $f_{\min}$  と前記周波数  $f_3$  の間について導出するステップと、

前記第 3 ノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記第 3 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記第 3 ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第 2 の部分を計算するステップと、

前記制御ループの周波数特性の第 1 の部分及び第 2 の部分を合成するステップと、

を含む請求項 2 記載のノッチフィルタ設定方法。

【請求項 4】中心周波数が設定されたノッチフィルタについて、当該ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小である周波数を計算するステップをさらに含む請求項 2 記載のノッチフィルタ設定方法。

【請求項 5】ノッチフィルタを含む制御ループが安定的に動作するように前記ノッチフィルタの設定を調整する方法であって、

前記ノッチフィルタの中心周波数より大きく且つ前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第 1 周波数における、前記制御ループの現在の特性と前記基準周波数特性との第 1 距離を導出するステップと、

前記ノッチフィルタの中心周波数より小さく且つ前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第 2 周波数における、前記制御ループの現在の特性と前記基準周波数特性との第 2 距離を導出するステップと、

前記第 1 距離及び第 2 距離から、前記ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせるか判断する判断ステップとを含むノッチフィルタ調整方法。

【請求項 6】前記判断ステップが、

前記第 1 距離及び第 2 距離の差を計算するステップと、当該差が所定のしきい値を超えているか否か判断するステップとを含む請求項 5 記載のノッチフィルタ調整方法。

【請求項 7】前記ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせる場合、前記第 1 距離と前記第 2 距離のいずれが大きいかを判断するステップと、

前記第 1 距離が大きい場合、前記中心周波数を下げることにより前記ノッチフィルタを調整するステップと、

前記第 2 距離が大きい場合、前記中心周波数を上げることにより前記ノッチフィルタを調整するステップとをさらに含む請求項 5 記載のノッチフィルタ調整方法。

【請求項 8】制御装置における制御ループの周波数特性

を導出する装置であって、

導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{\min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{\min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  を中心周波数とする第1ノッチフィルタを前記制御ループに設けた場合の、導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  ( $f_{\max} > f_3$ ) の間の周波数における、前記制御ループ中の第1信号と、前記最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  を中心周波数とする第2ノッチフィルタを前記制御ループに設けた場合の、前記最小周波数  $f_{\min}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数における、前記制御ループ中の第2信号とを前記制御装置から受信するモジュールと、

前記第1信号を用いて前記第1ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を計算し、前記第2信号を用いて前記第2ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を計算するモジュールと、

前記第1ノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記第1ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記第1ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第1の部分と前記第2ノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記第2ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記第2ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第2の部分とを計算し、前記制御ループの周波数特性の第1の部分及び第2の部分とを合成するモジュールと、

を有する周波数特性導出装置。

【請求項9】導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{\min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{\min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタと、

導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  ( $f_{\max} > f_3$ ) の間の周波数の第1信号を、前記ノッチフィルタを含む制御ループに注入し、前記第1信号に対応する、前記制御ループ中の第2信号の値を記憶するモジュールと、

を有し、

前記ノッチフィルタに、前記最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  が中心周波数として設定された場合、前記モジュールは、前記最小周波数  $f_{\min}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数の第3信号を、前記周波数  $f_2$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタを含む制御ループに注入し、前記第3信号に対応する、前記制御ループ中の第4信号の値を記憶することを特徴とする、制御装置。

【請求項10】前記第2信号の値を用いて前記周波数  $f_1$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を計算し、前記第4信号の値を用いて前記周波数  $f_2$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を計算するモジュールをさらに含む請求項9記載の制御装置。

【請求項11】前記周波数  $f_1$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記周波数  $f_1$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第1の部分と前記周波数  $f_2$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタの周波数特性を用いて、前記周波数  $f_2$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、前記ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性の第2の部分とを計算し、前記制御ループの周波数特性の第1の部分及び第2の部分とを合成するモジュールをさらに含む請求項10記載の制御装置。

【請求項12】特定の周波数を中心周波数とする第1ノッチフィルタの周波数特性と前記ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性とから前記第1ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性を計算し、前記第1ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離のうち最小距離を検出する検出モジュールをさらに含む請求項11記載の制御装置。

【請求項13】検出された複数の前記最小距離の中から最大値を見出し、当該最大値を検出した際の第1ノッチフィルタの中心周波数を、前記ノッチフィルタに設定するモジュールと、

をさらに含む請求項12記載の制御装置。

【請求項14】中心周波数が設定されたノッチフィルタについて、当該ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小である周波数を計算するモジュールをさらに含む請求項13記載の制御装置。

【請求項15】ノッチフィルタを含む位置制御装置の当該ノッチフィルタを設定する装置であって、

前記ノッチフィルタを除く、前記位置制御装置の制御ループの周波数特性を導出するモジュールと、

特定の周波数を中心周波数とする第1ノッチフィルタの周波数特性と前記ノッチフィルタを除く前記制御ループの周波数特性から前記第1ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離のうち最小距離を検出する検出モジュールと、

検出された複数の前記最小距離の中から最大値を見出し、当該最大値を検出した際の第1ノッチフィルタの中心周波数を前記ノッチフィルタに設定するように、前記位置制御装置に指示するモジュールとを有するノッチフィルタ設定装置。

【請求項16】中心周波数の設定されたノッチフィルタについて、当該ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であ



る周波数を計算するモジュールをさらに有する請求項15記載のノッチフィルタ設定装置。

【請求項17】ノッチフィルタを含む制御装置であって、  
前記ノッチフィルタの中心周波数より大きく且つ前記制御装置における制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第1周波数における、前記制御ループの現在の特性と前記基準周波数特性との第1距離を導出し、前記ノッチフィルタの中心周波数より小さく且つ前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第2周波数における、前記制御ループの現在の特性と前記基準周波数特性との第2距離を導出するモジュールと、  
前記第1距離及び第2距離から、前記ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせるか判断する判断モジュールとを有する制御装置。

【請求項18】前記判断モジュールが、  
前記第1距離及び第2距離の差を計算し、当該差が所定のしきい値を超えているか否か判断することを特徴とする請求項17記載の制御装置。

【請求項19】前記ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせる場合、前記第1距離と前記第2距離のいずれが大きいかを判断し、前記第1距離が大きい場合、前記中心周波数を下げるように命じ、前記第2距離が大きい場合、前記中心周波数を上げるように命じるモジュールをさらに含む請求項17記載の制御装置。

【請求項20】導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{\min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{\min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタと、  
導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  ( $f_{\max} > f_3$ ) の間の周波数の第1信号を、前記ノッチフィルタを含む制御ループに注入し、前記第1信号に対応する、前記制御ループ中の第2信号の値を記憶するモジュールと、  
前記ノッチフィルタに、前記最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  を中心周波数として設定し、前記モジュールに、前記最小周波数  $f_{\min}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数の第3信号を、前記周波数  $f_2$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタを含む制御ループに注入させ、前記第3信号に対応する、前記制御ループ中の第4信号の値を記憶させる制御モジュールと、  
を含むディスク記憶装置。

【請求項21】ディスク記憶装置であって、  
ノッチフィルタを含むヘッド制御装置を有し、  
当該ヘッド制御装置は、  
前記ノッチフィルタの中心周波数より大きく且つ前記ヘッド制御装置における制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第1周波数における、前記制御ループの現在の特性と前記基準周波数特性との第1距離を導出し、前記ノッチフィルタの中心周

波数より小さく且つ前記制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第2周波数における、前記制御ループの現在の特性と前記基準周波数特性との第2距離を導出するモジュールと、  
前記第1距離及び第2距離から、前記ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせるか判断する判断モジュールとを有する、ディスク記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、機械的な共振の抑制に関し、より詳しくは、ノッチフィルタを用いる、機械的な共振の抑制方法に関する。

【0002】

【従来の技術】ハードディスク装置などのヘッドの位置決め制御において、アクチュエータの機械的共振のうち、サーボ帯域周波数より高い数kHz程度の周波数に存在するものは、そのピーク振幅が大きいために、ノッチフィルタなどで抑圧しなければ安定なサーボループが構成できない。このノッチフィルタの特性は、固定の中心周波数で、固定のQのデジタル・フィルタやアナログ・フィルタを用いるのが一般的である。ノッチフィルタの中心周波数はアクチュエータの共振周波数に選ばれよいが、Qを小さ目に選んで、共振を抑圧できる周波数を広くとると、ノッチフィルタの中心周波数より低い周波数に存在するサーボ帯域周波数での位相遅れが大きくなる。これではサーボループの位相余裕が減少し、制御性能を劣化させるので、なるべく大きなQで、中心周波数が常に共振周波数に一致したノッチフィルタが望ましい。しかし、アクチュエータの共振周波数には固体のばらつきがある上に、温度で変化するので、ノッチフィルタのQは小さめに設定し、少々共振周波数がずれても共振を抑圧できるようにマージンを持って設計されている。そのため、アクチュエータを設計する上で、ばらつきや温度変化を小さくすることはもちろんであるが、共振の大きさをなるべく小さく、かつその周波数を高くする必要がある。これは、ハードディスク装置のディスクの枚数が増えると、アクチュエータの質量が増えるので共振周波数が低下し、さらにディスクの回転数が高くなると、サーボ帯域が上昇するので、この問題はノッチフィルタにとって不利な方向に進んでいる。

【0003】そこで、ノッチフィルタの中心周波数を製造時にアクチュエータの共振周波数に合わせ込む技術が開発されている。その方法は大きく分けて2種類存在する。一つは、シーク動作終了直後のヘッド位置誤差信号を利用する方法であり、もう一つは、ヘッドの位置決め制御の開ループの伝達関数を利用する方法である。

【0004】まずシーク動作終了直後のヘッド位置誤差信号を利用する方法は、特開平1-235082号公報に開示されている。この公報は、光ディスク装置のノッチフィルタの調整方法に関する発明で、機構系の共振周

波数と共振値を、サーボのゲインやノッチフィルタの中心周波数をスイープさせて、ヘッドの位置ずれ信号が最小になる点を求める方法である。この手法を現実に応用する場合には問題が多い。すなわち、機構系の共振は唯一とは限らず、いくつかの共振の影響が位置ずれ信号に現れる。その時、位置ずれ信号が局所的に最小になる点が例えば図 12 のように複数現われる。それらの点のうちどれが最小になるかは装置の温度、機構の可動部の摩擦などの状態によって左右される。さらに、本公報の図 2 にある 2 次関数のようなはっきりした最小値が出ず、最小値の領域が平坦になって最小値の誤差が非常に大きな周波数の誤差になる場合が多い。つまり、信頼できる共振周波数を検出するのは非常に困難である。また、測定する際には、制御ループのゲインを変化させるために、制御系が不安定になりやすく、場合によってはアクチュエータなどの機械要素にダメージを与えかねない。

【0005】もう一方のヘッドの位置決め制御の開ループの伝達関数を利用する方法もいくつか開発されている。まず、特開平 5-109217 号公報は、磁気ディスク装置のノッチフィルタの調整方法に関する発明で、VCM に、ある周波数の信号を注入し、その周波数をスイープすることで、アクチュエータの伝達関数を測定し、そのピークにノッチフィルタの中心周波数をセットすることを特徴としている。この手法を現実に応用する場合には問題が多い。すなわち、機構系の共振は単一とは限らず、図 13 の P1 と P2 のように複数の共振が非常に近い周波数に存在する場合がある。その時に伝達関数で見た一方のピークにノッチフィルタをあわせこむと、他方のピークが十分に押え込めないことになる。この公報では、段落番号 0017 に「ゲインを下げたい周波数は一点のみとしている。仮に複数のポイントの周波数においてフィルタ定数を調整する必要があるなら、測定周波数範囲を変えて、同じ処理を繰り返せばよい。」と記述されているのは、図 13 の P3 は別のフィルタで抑圧できることを意味しており、P1 と P2 のように同じ測定範囲に複数のピークがある場合には単一のノッチフィルタで抑圧することができないことを示している。

【0006】また、特開平 5-313851 号公報においても、アクチュエータの伝達関数を利用する方法が述べられている。この発明は特開平 5-109217 号公報に酷似しており、請求項に「該取得した利得変化特性が所定の特性からずれた波形の最大値と、該波形の最大値の周波数と、該波形の幅とを検出し、このずれた波形を打ち消す周波数特性を演算して前記ノッチフィルタの定数を設定し直す。」とあるように、伝達関数のピークを検出し、それをノッチフィルタの中心周波数とし、その Q は共振ピークの幅を用いている。複数のピークのある場合の対処は公報の段落番号 0029 に「ピークが一つではないなど多岐に渡る場合があるが、一般論として

は、ノッチフィルタの F1 と F2 を算出して、この範囲内にある利得のピークを包括するようなダンピング・デプス G を決定すれば、解決する」と述べられている。しかし、実際の周波数特性は公報の図 3 (B) のようなスムーズな形にならないために、F1 と F2 の正確な検出が困難であるので、結果的にノッチフィルタの Q の精度が悪い。また、ノッチフィルタの中心周波数は最大のピークの周波数にセットされ、他方のピークはノッチフィルタの幅を広げることで押え込むため、必要以上にノッチフィルタの Q が必要以上に低めに設定されることにより、サーボループの位相余裕が減少して、制御特性が劣化する問題がある。

【0007】上記の公報においては、製造時のみならず通常の動作時にもノッチフィルタの調整をすることを示唆するものはあるが、装置の通常動作時に製造時と同じ調整方法を用いると、調整に時間がかかり、装置の通常動作を妨げる可能性がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、アクチュエータ等によって制御対象物の位置決め制御を行う装置（例えばハードディスク装置など）に複数の周波数に機械的共振が存在しても、一つの最適なノッチフィルタを選択することによって安定なフィードバック制御を実現することを目的とする。

【0009】さらに、本発明は、位置決め制御を行う装置に対しダメージを与えないような方法で、ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性を導出することも目的である。

【0010】さらに、アクチュエータ等の共振周波数が温度依存性などによって変化しても、その変化に対応してノッチフィルタを調整し、制御性能の低下のない制御ループを構成することも目的である。

【0011】また、位置決め制御装置の動作時に行うノッチフィルタの調整が短時間で終了できるようにすることにより、装置の通常の動作の妨げになりにくい方法を提供することも目的である。

【0012】

【課題を解決するための手段】制御ループの周波数特性を導出するために本発明では以下のような処理を行う。すなわち、(A) 導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{\min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{\min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  を中心周波数とする第 1 ノッチフィルタを含む制御装置の制御ループの周波数特性を、導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{\max}$  と前記周波数  $f_3$  ( $f_{\max} > f_3$ ) の間について導出するステップと、(B) 第 1 ノッチフィルタの周波数特性を用いて、第 1 ノッチフィルタを含む前記制御ループの周波数特性から、第 1 ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の第 1 の部分を計算するステップと、(C) 最大周波数  $f_{\max}$  と周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  を中心周波数とする第 2 ノッチフィルタを含む制御ル



ープの周波数特性を、最小周波数  $f_{\min}$  と周波数  $f_3$  の間について導出するステップと、(D) 第2ノッチフィルタの周波数特性を用いて、第2ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性から、第2ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の第2の部分計算するステップと、(E) 制御ループの周波数特性の第1の部分及び第2部分を合成するステップとを実施する。ここで、実施の順番は、(C) (D) (A) (B), (A) (C) (B) (D), (A) (C) (D) (B), (C) (A) (B) (D), (C) (A) (D) (B) でもよい。(A) 及び (C) を実施する方法は様々であるが、制御ループにおける制御対象の位置の誤差に関する信号を各周波数の信号に対して測定し、その測定値を用いて計算する方法が一般的である。この方法により制御対象の周波数特性を導出することにより、ループゲインが変更されず、常にノッチフィルタが挿入されているので、制御ループが不安定になりにくいという効果がある。

【0013】以上の処理は、(A) 及び (C) の導出処理の元となる信号(制御ループ内の信号、例えばヘッドの位置誤差信号)の測定以外は、主に、制御ループを有しているハードディスク・ドライブ等の位置決め制御装置を調整する装置において実施されるが、位置決め制御装置自ら実施することも可能である。また、以上の処理の一部を位置決め制御装置で実施し、残りの部分を調整装置で実施することも可能である。

【0014】また、制御ループ中に設けられるノッチフィルタの設定を行うために、本発明では以下のような処理を実施する。すなわち、ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性を導出するステップと、特定の周波数を中心周波数とする第1ノッチフィルタの周波数特性とノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性から第1ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性を計算し、第1ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離のうち最小距離を検出する検出ステップと、必要な周波数帯の中でノッチフィルタの中心周波数を変化させ、検出ステップを実施するステップと、検出された複数の最小距離の中から最大値を見出し、当該最大値を検出した際の第1ノッチフィルタの中心周波数を、制御ループ中に設けられるノッチフィルタに設定するステップとを実施する。ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性を導出するステップは、先に述べた処理を実行してもよい。また、検出ステップを実施する場合、中心周波数のみならず、サーボ帯域周波数における位相遅れについても考慮してノッチフィルタのパラメータを設定するとよい。すなわち、位相遅れが一定であって且つ所定の中心周波数を実現できるようにノッチフィルタのパラメータを設定する。このように、サーボ帯域周波数における位相遅れが一定という保証があれば、アクチュエータ等の共振周波数がずれて

も、制御性能を劣化させることなく、機械的な共振ピークを抑圧することができる。ノッチフィルタのパラメータについては予め計算しておき、検出ステップを実施するごとに、当該パラメータを読み出すようにすると、処理が高速化される。

【0015】上で述べた所定の基準周波数特性は、理想とされる周波数特性であり、ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性と基準周波数特性との距離の定義は様々な態様が考えられる。また、このような処理は、主に、位置決め制御装置を調整する装置にて実施するが、これらの処理のうち一部又は全てについては位置決め制御装置自身によって行うことが可能である。

【0016】さらに、中心周波数が設定されたノッチフィルタについて、当該ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小である周波数を計算するステップを実行するようにしてもよい。後に、位置決め制御装置が実施する可能性がある、通常動作時の中心周波数の調整において用いるデータを収集するためである。本発明の実施例では、中心周波数より大きく且つ距離が最低である周波数と、中心周波数より小さく且つ距離が最低である周波数が用いられる。

【0017】位置決め制御装置が通常動作時にノッチフィルタの調整を行うために、ノッチフィルタの中心周波数より大きく且つ制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第1周波数における、制御ループの現在の特性と基準周波数特性との第1距離を導出するステップと、ノッチフィルタの中心周波数より小さく且つ制御ループの周波数特性と所定の基準周波数特性との距離が最小であった第2周波数における、制御ループの現在の特性と基準周波数特性との第2距離を導出するステップと、第1距離及び第2距離から、ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせるか判断する判断ステップと実施する。このように、第1周波数及び第2周波数における制御ループの現在の特性のみを測定すれば、ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせるか否か判断できるようになっているので、位置決め制御装置の動作時に行う最適ノッチフィルタの探索が短時間で終了し、装置の通常の動作の妨げになりにくい。

【0018】また、判断ステップが、第1距離及び第2距離の差を計算するステップと、当該差が所定のしきい値を超えているか否か判断するステップとを含むようにすることも考えられる。さらに、ノッチフィルタの中心周波数をシフトさせる場合、第1距離と前記第2距離のいずれが大きいかを判断するステップと、第1距離が大きい場合、中心周波数を下げることによりノッチフィルタを調整するステップと、第2距離が大きい場合、中心周波数を上げることによりノッチフィルタを調整するステップとさらに実施するようにすることも考えられる。

【0019】上でも述べたが、位置決め制御装置を調整

する装置は、位置決め制御装置における機能を最小限にする場合、以下のような機能を有す。すなわち、位置決め制御装置とのインタフェースとなるモジュールであって、導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  を中心周波数とする第1ノッチフィルタを制御ループに設けた場合の、導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{max}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{max} > f_3$ ) の間の周波数における、制御ループ中の第1信号 (例えば制御対象物の位置の誤差に関する信号) と、最大周波数  $f_{max}$  と周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  を中心周波数とする第2ノッチフィルタを制御ループに設けた場合の、最小周波数  $f_{min}$  と前記周波数  $f_3$  の間の周波数における、制御ループ中の第2信号 (例えば制御対象物の位置の誤差に関する信号) とを位置決め制御装置から受信するモジュールを含む。また、第1信号を用いて第1ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性を計算し、第2信号を用いて第2ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性を計算するモジュールと、第1ノッチフィルタの周波数特性を用いて、第1ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性から、第1ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の第1の部分

を計算し、第2ノッチフィルタの周波数特性を用いて、第2ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性から、第2ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の第2の部分

【0020】このような位置決め制御装置を調整する装置が存在する際に、位置決め制御装置は、導出すべき周波数特性の最小周波数  $f_{min}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{min} < f_3$ ) の間の周波数  $f_1$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタと、導出すべき周波数特性の最大周波数  $f_{max}$  と周波数  $f_3$  ( $f_{max} > f_3$ ) の間の周波数の第1信号を、ノッチフィルタを含む制御ループに注入し、第1信号に対応する、制御ループ中の第2信号 (例えば制御対象物の位置の誤差に関する信号) の値を記憶するモジュールとを有し、ノッチフィルタに、最大周波数  $f_{max}$  と周波数  $f_3$  の間の周波数  $f_2$  が中心周波数として設定された場合、先に述べたモジュールは、最小周波数  $f_{min}$  と周波数  $f_3$  の間の周波数の第3信号を、周波数  $f_2$  が中心周波数として設定されたノッチフィルタを含む制御ループに注入し、第3信号に対応する、制御ループ中の第4信号 (例えば制御対象物の位置の誤差に関する信号) の値を記憶する。この位置決め制御装置は、他の機能を含む事が可能である。

【0021】本発明は他の発明と異なり、伝達関数のピークの周波数は直接測定せずに、伝達関数の形をもとに、開ループゲインの不要なピークが低くなるように最適なノッチフィルタを選択する。よって、複数の機械的共振のピークが重なりあったり、ピークの形状がスムー

スでない場合などの、機械的共振の形態に影響されにくい方法を実現することができる。以下、典型例としてハードディスクドライブの場合を述べるが、アクチュエータやモーターを用いて位置決め制御を行うロボット、走査型顕微鏡、光ディスクドライブなども機械的な共振が制御ループ内に存在し且つ影響を与えるので、本発明を応用することが可能である。

【0022】先に述べた処理のステップは、コンピュータ・プログラム (マイクロコードを含む) の形態にて実施される場合もある。さらに、電子回路の形態で実施される場合もある。

【0023】

【発明の実施の形態】図1に本発明の位置決め制御装置であるHDD1とその調整装置であるファンクション・テスタ3を示す。HDD1は、コンピュータ本体やテスタ3と接続するためのバス・インタフェース17を有している。このインタフェースはIDEやSCSIインタフェース等が用いられるが、これに限定されるものではない。このバス・インタフェース17は、HDD1全体のためのCPUであるドライブCPU13に接続されている。また、このドライブCPU13はメモリ15及びサーボ・プロセッサ9に接続されている。このサーボ・プロセッサ9は、メモリ11に接続されている。なお、このサーボ・プロセッサ9は、アクチュエータ7に信号を送り、ヘッド5から位置誤差信号を受け取るようになっている。なお、サーボ・プロセッサ9は、サーボ・コントローラとノッチフィルタの両方を含んでいる。すなわち、図2に示すように、制御ループとしては、サーボ・コントローラ、ノッチフィルタ及びアクチュエータが直列に接続されている形態になる。この制御ループで、アクチュエータの出力としてフィードバックされるのは位置誤差信号  $P_{es}(t)$  である。なお、基準位置からの入力と位置誤差信号  $-P_{es}(t)$  を加算したものが  $U(t)$  であり、後に用いられる。

【0024】テスタ3は、HDD17のインタフェースに合わせてバス・インタフェース19を有している。このバス・インタフェース19はCPU21に接続しており、このCPU21はメモリ23に接続されている。

【0025】アクチュエータ等によって位置決め制御を行う装置においては図2に示すようなノッチフィルタを制御ループ内に挿入し、アクチュエータの機械的共振による制御性能の劣化を防ぐのが一般的である。機械的共振のピークが存在すると、制御ループのゲイン余裕が低下するだけでなく、位置誤差信号の中に、微小な振動成分が残留し制御性能が劣化する。ノッチフィルタはその共振のピークを押え込むので、ゲイン余裕が増えるが、図3に示すようにノッチフィルタの位相特性から、制御帯域周波数における位相が遅れ、位相余裕が減少する問題がある (図4参照)。図4では、ノッチフィルタのな



い実線よりノッチフィルタのある点線の位相特性が  $f_{bw}$  で低下していることが分かる。

【0026】そこで、制御帯域周波数  $f_{bw}$  (例えば 500 Hz) での位相遅れが一定 (例えば 5 度) になるようなノッチフィルタを予め計算で求めておく。例えば、抑圧したい機械的な共振が存在する周波数の近傍 (例えば  $\pm 500$  Hz 程度) で周波数 (例えば 30 Hz) ごとに中心周波数  $\Delta f$  の異なるノッチフィルタの係数を求めておく。そして、表としてテスト 3 のメモリ 23 に記憶しておく (図 5 ステップ 102)。但し、HDD 1 のメモリ 11 に記憶しておいてもよい。図 6 はノッチフィルタの一例で、一つのフィルタに五つの係数  $a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$  が必要である。

【0027】そして、テスト 3 の CPU はメモリ 23 内のノッチフィルタの表の中から中心周波数  $f_{01}$  と  $f_{02}$  の 2 つのノッチフィルタを選択し、そのうちの  $f_{01}$  のノッチフィルタの係数をバス・インターフェース 19 及び 17、ドライブ CPU 13 を介してノッチフィルタに設定する (ステップ 104)。なお、 $f_{01} < f_{02}$  とする。メモリ 11 にノッチフィルタの係数が予め記憶されている場合には、周波数  $f_{01}$  のみを指定すればよい。次にドライブ CPU 13 は、 $f_{max}$  から  $f_{03}$  ( $f_{min} < f_{03} < f_{max}$  であって、 $f_{min} < f_{01} < f_{03}$ ) の間の所定の間隔の周波数ごとに、 $Ref(t) = a_r \sin(2\pi ft)$  の波形をメモリ 15 上に展開し、その波形をクロックごとに読み出して、サーボ・プロセッサ 9 に注入する (ステップ 106)。この注入される信号は図 2 における基準位置に加えられることになる。

【0028】そして、 $f_{max}$  から  $f_{03}$  の各周波数について、信号の注入と同時に検出され且つサーボ・プロセッサ 9 の入力となる位置誤差信号  $P_{es}(t)$  の値をメモリ 1

\* 1 又はメモリ 15 に格納する (ステップ 108)。もし、HDD 1 内の構成を最小限度にするのであれば、格納した位置誤差信号  $P_{es}(t)$  をテスト 3 に送信する (ステップ 110)。もし、この後の処理も HDD 1 内で実施する場合には、テスト 3 に送信する必要はない。

【0029】さらに、テスト 3 の CPU 21 は、ノッチフィルタに  $f_{02}$  のノッチフィルタの係数をバス・インターフェース 19 及び 17、ドライブ CPU 13 を介してノッチフィルタに設定する (ステップ 112)。上と同じく、メモリ 11 にノッチフィルタの係数が予め記憶されている場合には、周波数  $f_{02}$  のみを指定すればよい。次に、ドライブ CPU 13 は、 $f_{min}$  から  $f_{03}$  ( $f_{03} < f_{02} < f_{max}$ ) の間の所定の間隔の周波数ごとに、 $Ref(t) = a_r \sin(2\pi ft)$  の波形をメモリ 15 上に展開し、その波形をクロックごとに読み出して、サーボ・プロセッサ 9 に注入する (ステップ 114)。

【0030】そして、 $f_{min}$  から  $f_{03}$  の各周波数について、信号の入力と同時に検出され且つサーボ・プロセッサ 9 の入力となる位置誤差信号  $P_{es}(t)$  の値をメモリ 11 又はメモリ 15 に格納する (ステップ 116)。もし、HDD 1 内の構成を最小限度にするのであれば、格納した位置誤差信号  $P_{es}(t)$  をテスト 3 に送信する (ステップ 118)。もし、この後の処理も HDD 1 内で実施する場合には、テスト 3 に送信する必要はない。

【0031】テスト 3 に位置誤差信号  $P_{es}(t)$  の値が送信された場合には、テスト 3 はそれを受信する (図 7, ステップ 124)。送信しない場合にはこのステップは不要である。テスト 3 の CPU 21 は、以下の数式を基に、 $f_{01}$  が中心周波数であるノッチフィルタを含む制御ループの開ループ伝達関数を計算する。

【数 1】

$$T_{open1}(f) = \left[ 1 + \frac{a_r}{\sqrt{(\sum P_{es}(t) \sin(2\pi ft))^2 + (\sum P_{es}(t) \cos(2\pi ft))^2}} \right]^{-1}$$

なお、 $f_{max}$  から  $f_{03}$  の各周波数について数 1 の計算を行うことにより、 $f_{max}$  から  $f_{03}$  の間のノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性が得られたことになる。

【0032】同じようにして、CPU 21 は、 $f_{02}$  が中心周波数であるノッチフィルタを含む制御ループの開ループ伝達関数を数 1 を用いて計算する。 $f_{min}$  から  $f_{03}$  の各周波数について数 1 の計算を行うことにより (結果※

※は  $T_{open2}(t)$  とする)、 $f_{min}$  から  $f_{03}$  の間のノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性が得られたことになる (ステップ 126)。

【0033】ところで、 $T_{open1}(t)$  を求める方法は他にもある。例えば、先に説明した  $U(t)$  を用いて、以下のような計算を実施すればよい。

【数 2】

$$T_{open1}(f) = \sqrt{\frac{(\sum P_{es}(t) \sin(2\pi ft))^2 + (\sum P_{es}(t) \cos(2\pi ft))^2}{(\sum U(t) \sin(2\pi ft))^2 + (\sum U(t) \cos(2\pi ft))^2}}$$

さらに、信号注入の位置を変えて、例えばアクチュエータの駆動信号の入力の位置にする方法等が考えられる。

【0034】また、このステップ 126 の処理をドライブ CPU 13 又はサーボ・プロセッサ 9 が実施し、T

open1(t)及びTopen2(t)をテスト3に送信するようもできる。

【0035】次に、f01を中心周波数とするノッチフィルタの周波数特性を計算する。これは、メモリ23に格納されているf01を中心周波数とする場合のノッチフィルタの係数から求められる。なお、f02を中心周波数とするノッチフィルタの周波数特性も同様に求めて求められる。計算は、以下のようなものである。

【数3】

$$G_{\text{notch1}}(f) = \frac{b_0 e^{j4\pi f T_s + b_1} e^{j4\pi f T_s + b_2}}{e^{j4\pi f T_s + a_1} e^{j4\pi f T_s + a_2}}$$

なお、Tsは、サンプリング周期を示す。また、f02を中心周波数とするノッチフィルタの周波数特性はGnotch2(f)となる。

【0036】そして、T1(f)=Topen1(f)/Gnotch1(f)を計算し、ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の第1の部分を求める。同じくT2(f)=Topen2(f)/Gnotch2(f)を計算し、ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の第2の部分を求める（ステップ128）。このノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の第1の部分及び第2の部分と連結すると、fminからfmaxの伝達関数T(f)が合成できる（ステップ130）。

【0037】ステップ128及びステップ130についてもHDD1内のドライブCPU13において実施してもよいし、サーボ・プロセッサ9で実施してもよい。

【0038】以上でノッチフィルタ以外のアクチュエータ及びサーボ・コントローラに関する伝達関数が求められる。このように、伝達関数を導出する際には、ループゲインが変更されず、常にノッチフィルタが挿入されているので、位置決め制御装置の制御ループが不安定になりにくいという効果がある。

【0039】次に、テスト3による最適ノッチフィルタの設定処理について説明する。最初にn=1としてnを初期化する（図8、ステップ142）。そして、nがmになるまで、ステップ146乃至ステップ150を繰り返す（ステップ144）。このmは、△fずつずれた中心周波数fnのノッチフィルタの係数がmセット存在することを意味する。そして、fnを中心周波数とするノッチフィルタの係数をメモリ23から読み出し、数3と同様な計算によりGfn(f)を計算し、Tfn=T(f)Gfn(f)によって、中心周波数fnであるノッチフィルタを含む制御ループの開ループゲインの周波数特性を計算する（ステップ146）。一方、予め決められた基準周波数特性Tref(f)とTfnを比較し、それらの距離が最小となる距離をメモリ23に格納する（ステップ148）。距離は、ここではDfn(f)=Tfn/Tref(f)と定義す

る。この最小となる距離をDmin(fn)とし、これを格納する。そして、nを1インクメントしてステップ144に戻る。これにより、n=1からmのDmin(fn)が求められる。なお、基準周波数特性Tref(f)は、周波数が増加するとゲインが直線的に下がるような特性であり、開ループゲインの望ましい形を規定する。例えば、log(Tref(f))=c1log(f)+c0(c0及びc1は定数で、c1<0)のような関数になる。

【0040】図9に基準周波数とTref(f)、T(f)の関係を示す。周波数の上昇につれて直線的に減少する線はTref(f)であり、点線は、ノッチフィルタなしの開ループゲインであるT(f)、実線はノッチフィルタありの開ループゲインであるTfn(f)である。この図で、Dfn(f)が本実施例における距離である。

【0041】全てのnについてDminを計算した場合には、そのうちの最大のものを検出する（ステップ152）。これが、最も性能がよいノッチフィルタである。よって、最大のDminのfnを見出し（ステップ156）、このfnを中心周波数としてノッチフィルタに設定する（ステップ156）。設定は、メモリ23に格納された周波数fnのノッチフィルタの係数をバス・インターフェース19を介してHDD1に送信する。メモリ11がノッチフィルタの係数の表を格納している場合にはfnを指定するだけでよい。最終的には、サーボ・プロセッサ9内のノッチフィルタに係数がセットされ、メモリ11も記憶する。ここまでで、HDD1の初期状態におけるノッチフィルタの設定は終了する。しかし、HDD1が通常動作中にノッチフィルタの調整を実施する場合には、以下の処理を行っておく。

【0042】すなわち、ノッチフィルタの中心周波数がfnである時の周波数特性Tfn(f)と基準周波数特性Tref(f)の距離が、fn以下で最小となる周波数f1-minとfn以上で最小となる周波数f2-minを計算する。これは、図10に示したような関係になる。Tfn(f)はfnで大きく落ち込むので、ノッチフィルタなしの周波数特性T(f)がどのような特性を有していても、fnの左右には基準周波数Tref(f)に最も近い周波数が1つずつ存在する。その周波数f1-min及びf2-minを検出し、HDD1内の不揮発性のメモリに記憶しておく。この周波数を用いて、通常動作時にノッチフィルタの調整を実施する。なお、ノッチフィルタの調整を行う場合には、メモリ11には、メモリ23に格納されているような、ノッチフィルタの表を保持しておかなければならない。よって、メモリ11は不揮発性のメモリとして、それらのデータを保持するようにすることも考えられる。

【0043】次に、HDD1が通常動作中にノッチフィルタを調整する際の処理について説明する。以下の処理はすべて、HDD1単独の処理である。HDD1がデータのアクセスを行っていない時に、ノッチフィルタ調整命令が発せられる（図11ステップ172）。そうする

と、図2に示した制御ループの基準位置に注入するため、ドライブCPU13が $R_{ref}(t) = a_r \sin(2\pi f_{1-min}t)$ をメモリに展開し、クロックごとに読み出してサーボ・プロセッサ9に出力する(ステップ174)。同時に検出されるヘッドの位置誤差信号 $P_{es1}(t)$ をメモリ15に記憶する(ステップ176)。同様に、ドライブCPU13が $R_{ref}(t) = a_r \sin(2\pi f_{2-min}t)$ をメモリに展開し、クロックごとに読み出してサーボ・プロセッサ9に出力する(ステップ178)。同時に検出されるヘッドの位置誤差信号 $P_{es2}(t)$ をメモリ15に記憶する(ステップ180)。

【0044】ある程度の長さのデータが得られたら、前述の方法によって数1を用いて開ループ伝達関数 $T_{open}(f_{1-min})$ を求め、基準周波数特性 $T_{ref}(f)$ からの距離 $D(f_{1-min})$ を計算で求める。さらに、数1を用いて開ループ伝達関数 $T_{open}(f_{2-min})$ を求め、基準周波数特性 $T_{ref}(f)$ からの距離 $D(f_{2-min})$ を計算で求める(ステップ182及び184)。そして、 $|D(f_{1-min}) - D(f_{2-min})| < D_{th}$  ( $D_{th}$ は所定のしきい値)かどうか判断される(ステップ186)。もしそうであれば、\*20

\*現在のノッチフィルタは、ほぼ最適であるので何もせずに処理を終了する(ステップ194)。一方、そうでない場合には、さらに、 $D(f_{1-min}) > D(f_{2-min})$ であるかどうか判断する(ステップ188)。もし、そうであるならば、機械的共振の周波数が低くなったとみなせるので、ノッチフィルタの中心周波数が $\Delta f$ だけ低いものの係数をメモリ11から読み出し、ノッチフィルタに設定する(ステップ192)。そうでないならば、機械的共振の周波数が高くなったとみなせるので、ノッチフィルタの中心周波数が $\Delta f$ だけ高いものの係数をメモリ11から読み出し、ノッチフィルタに設定する(ステップ190)。

【0045】以上でノッチフィルタの調整は終了する。但し、単一の正弦波を注入する以外に、二つの周波数成分をもつ信号を注入する方法もありうる。例えば、 $R_{ref}(t) = a_r \sin(2\pi f_{1-min}t) + a_r \sin(2\pi f_{2-min}t)$ の信号を注入し、以下の計算を実施することにより、 $T_{open}(f_{1-min})$ 及び $T_{open}(f_{2-min})$ を計算することができる。

【数4】

$$T_{open}(f_{1-min}) = \left[ 1 + \frac{a_r}{\sqrt{(\sum P_{es}(t) \sin(2\pi f_{1-min}t))^2 + (\sum P_{es}(t) \cos(2\pi f_{1-min}t))^2}} \right]^{-1}$$

【数5】

$$T_{open}(f_{2-min}) = \left[ 1 + \frac{a_r}{\sqrt{(\sum P_{es}(t) \sin(2\pi f_{2-min}t))^2 + (\sum P_{es}(t) \cos(2\pi f_{2-min}t))^2}} \right]^{-1}$$

【数6】

$$T_{open}(f_{1-min}) = \sqrt{\frac{(\sum P_{es}(t) \sin(2\pi f_{1-min}t))^2 + (\sum P_{es}(t) \cos(2\pi f_{1-min}t))^2}{(\sum U(t) \sin(2\pi f_{1-min}t))^2 + (\sum U(t) \cos(2\pi f_{1-min}t))^2}}$$

【数7】

$$T_{open}(f_{2-min}) = \sqrt{\frac{(\sum P_{es}(t) \sin(2\pi f_{2-min}t))^2 + (\sum P_{es}(t) \cos(2\pi f_{2-min}t))^2}{(\sum U(t) \sin(2\pi f_{2-min}t))^2 + (\sum U(t) \cos(2\pi f_{2-min}t))^2}}$$

【0046】これによって、温度変化などの影響でアクチュエータの共振周波数がずれても常に最適なノッチフィルタを設定することができる。また、計算は二つの周波数における伝達関数を大小比較するだけなので、計算量が少なく済み、HDDの回路やプログラムを複雑にすることがなく、計算に時間がかからないので、HDDの通常の動作を妨げない。

【0047】以上本発明の一実施例を述べたが、様々な変形が可能である。例えば、上で述べた処理は、その結果が変わらない限りにおいて順番の入れ替えが可能である。例えば、図5では、 $f_{01}$ の処理を最初に行っているが、 $f_{02}$ の処理を最初に行うようにすることも可能である。さらに、図5では、位置誤差信号を送信すること



た後に、直ぐに  $f_{02}$  に関する位置誤差信号の値を格納するようになっているが、中心周波数  $f_{01}$  のノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性の計算までを最初に行い、その後に  $f_{02}$  に関する処理を実施するようにしてもよい。さらに、ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性の計算までを最初に行い、その後に  $f_{02}$  に関する処理を実施するようにすることも可能である。

【0048】また、図11では、最初に  $f_{1-min}$  に関する処理を実施することにしているが、 $f_{2-min}$  に関する処理を最初に実施するようにすることも可能である。さらに、 $f_{1-min}$  及び  $f_{2-min}$  に関する位置誤差信号の値を格納するようになっているが、 $f_{1-min}$  についてステップ182又は184までの処理を実施してから、 $f_{2-min}$  についてステップ182又は184までの処理を実施するようにすることも可能である。

【0049】また図1における機能ブロック図は一例であって、位置決め制御装置が何であるかによって、その構成は異なる可能性がある。当然、CPUの数や位置、メモリの構成等も異なってくる。位置決め制御装置を調整する装置における機能は、位置決め制御装置内に含まれるものが多く、位置決め制御装置自ら全ての設定及び調整を実施するようにすることも可能である。

【0050】

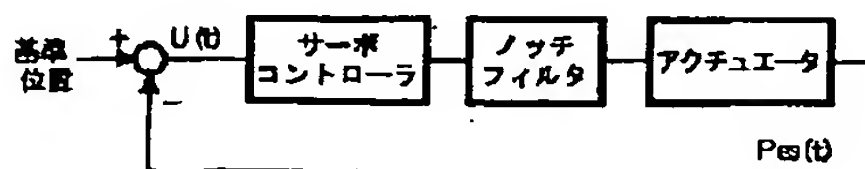
【効果】アクチュエータ等によって制御対象物の位置決め制御を行う装置に複数の周波数に機械的共振が存在しても、一つの最適なノッチフィルタを選択することによって安定なフィードバック制御を実現することができた。

【0051】位置決め制御を行う装置に対しダメージを与えないような方法で、ノッチフィルタを除く制御ループの周波数特性を導出することもできた。

【0052】さらに、アクチュエータ等の共振周波数が温度依存性などによって変化しても、その変化に対応してノッチフィルタを調整し、制御性能の低下のない制御ループを構成することもできた。

【0053】また、位置決め制御装置の動作時に行うノ

【図2】



ッチフィルタの調整が短時間で終了できるようにすることにより、装置の通常の動作の妨げになりにくい方法を提供することもできた。

【0054】上記の目的を達成するために必要な機能を備えた位置決め制御装置を提供することもできた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の機能ブロック図である。

【図2】制御ループの例を示す図である。

【図3】ノッチフィルタの周波数特性を表す図である。

【図4】ノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性を表す図である。

【図5】主に位置決め制御装置の処理フローを表す図である。

【図6】ノッチフィルタの回路例である。

【図7】主に位置決め制御装置を調整する装置の処理フローを表す図である。

【図8】最適ノッチフィルタの設定のための処理フローを表す図である。

【図9】基準周波数特性  $T_{ref}$  と  $f_{fn}$  を中心周波数とするノッチフィルタを含む制御ループの周波数特性  $T_{fn}$  の関係を表す図である。

【図10】  $f_{1-min}$  及び  $f_{2-min}$  を説明するための図である。

【図11】通常動作時におけるノッチフィルタの調整のための処理フローを表す図である。

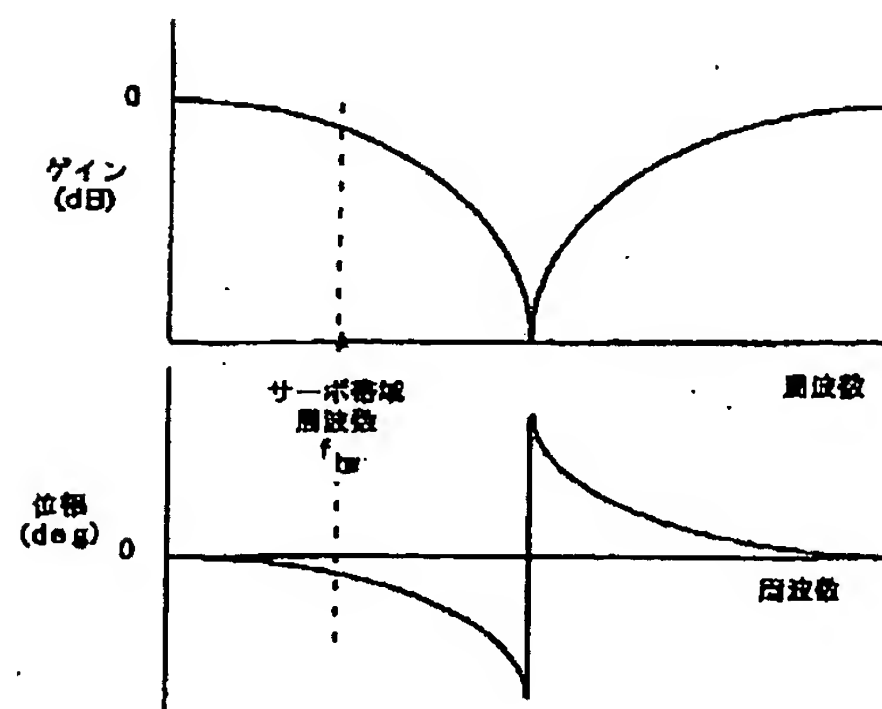
【図12】従来技術の欠点を説明するための図である。

【図13】従来技術の欠点を説明するための図である。

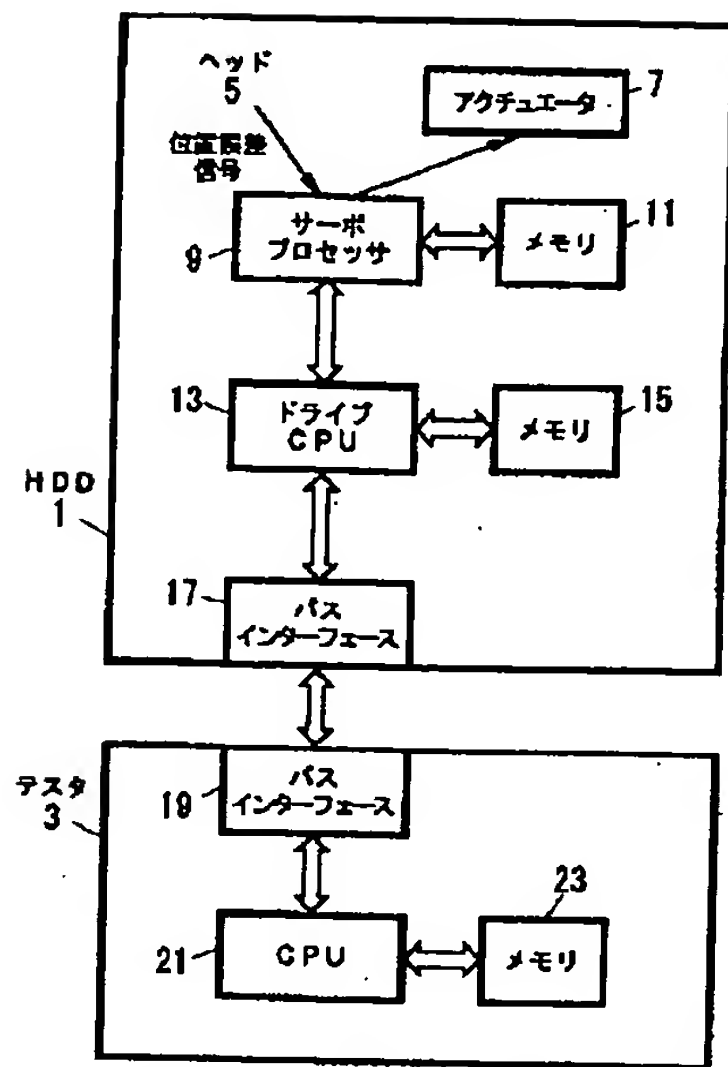
【符号の説明】

- 1 HDD    3 テスタ
- 5 ヘッド    7 アクチュエータ
- 9 サーボ・プロセッサ
- 11, 15, 23 メモリ
- 13 ドライブCPU
- 17, 19 バス・インターフェース
- 21 CPU

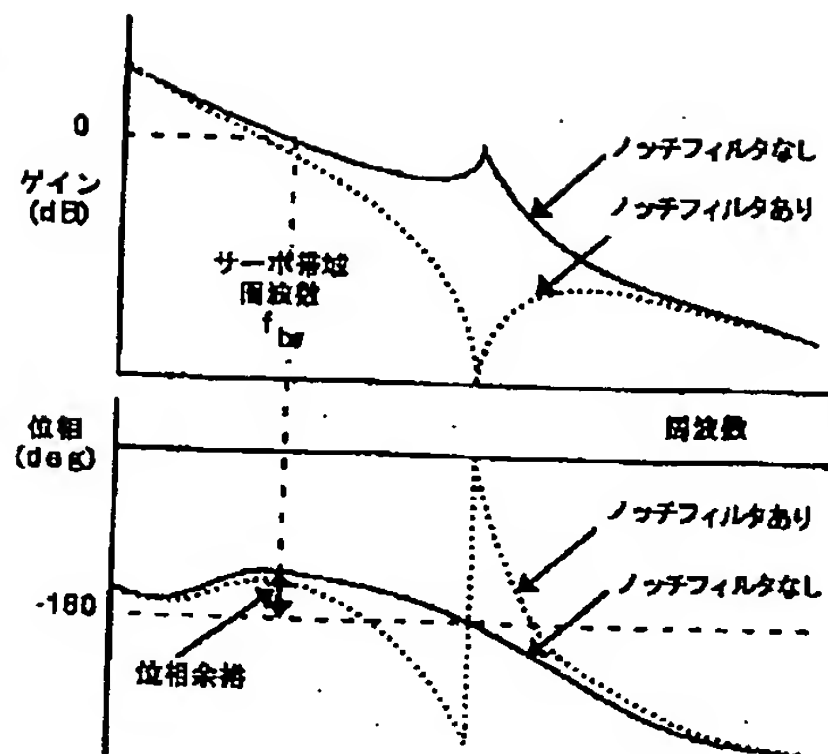
【図3】



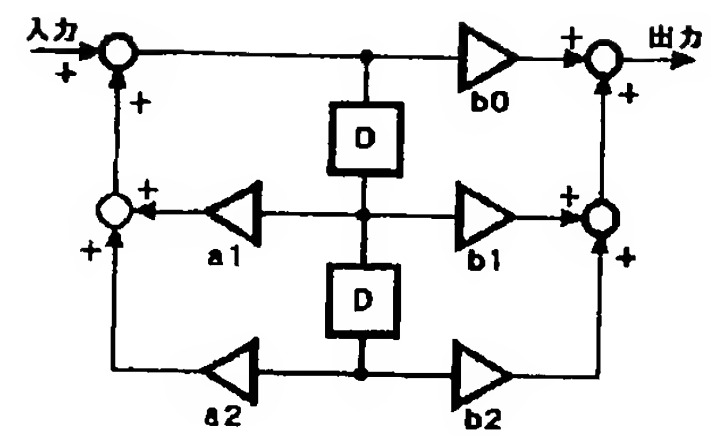
【図 1】



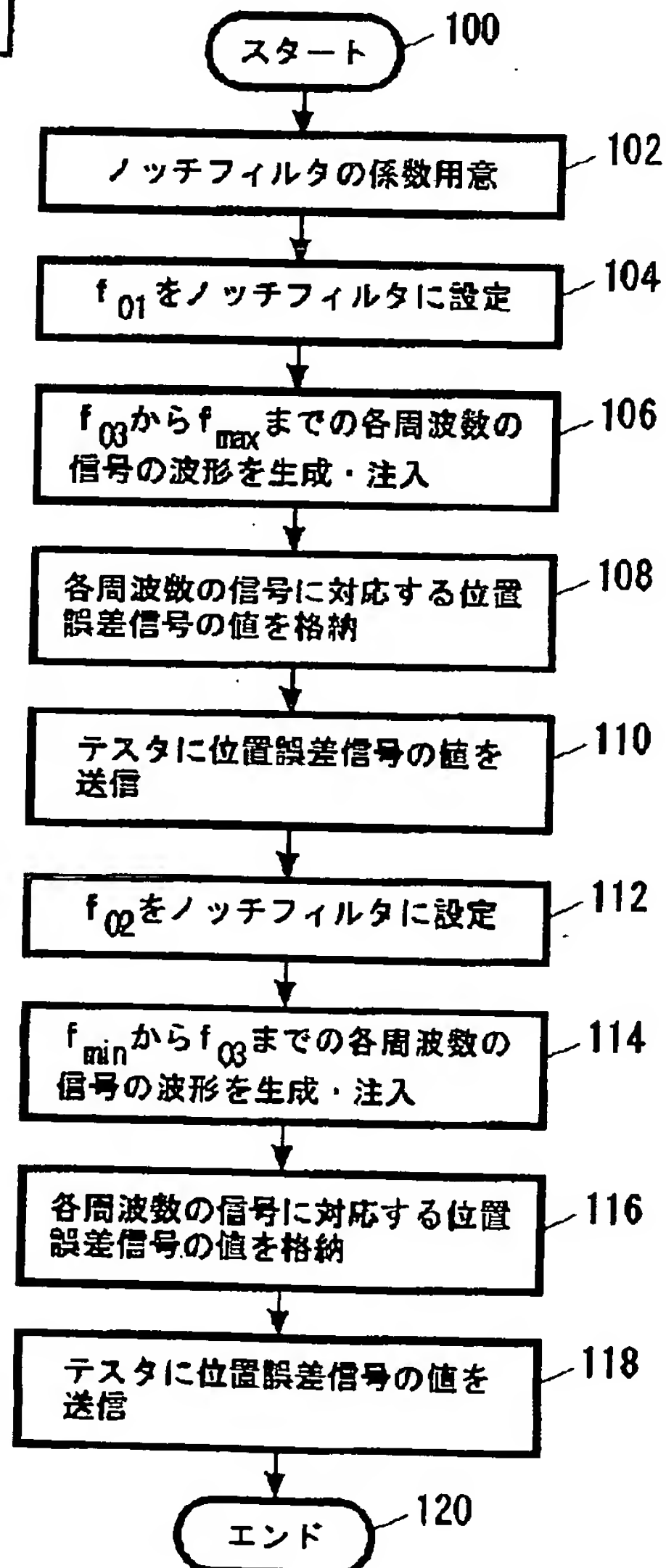
【図 4】



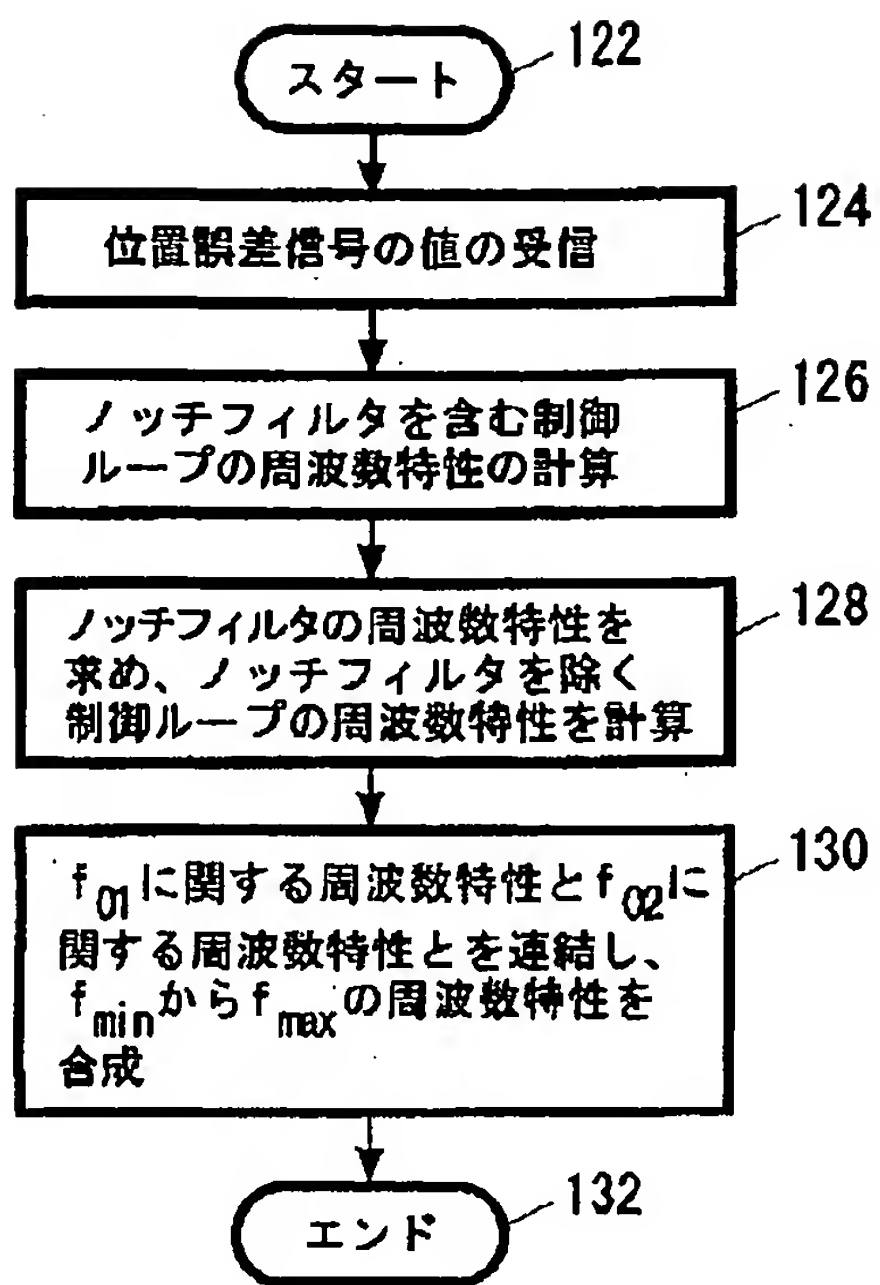
【図 6】



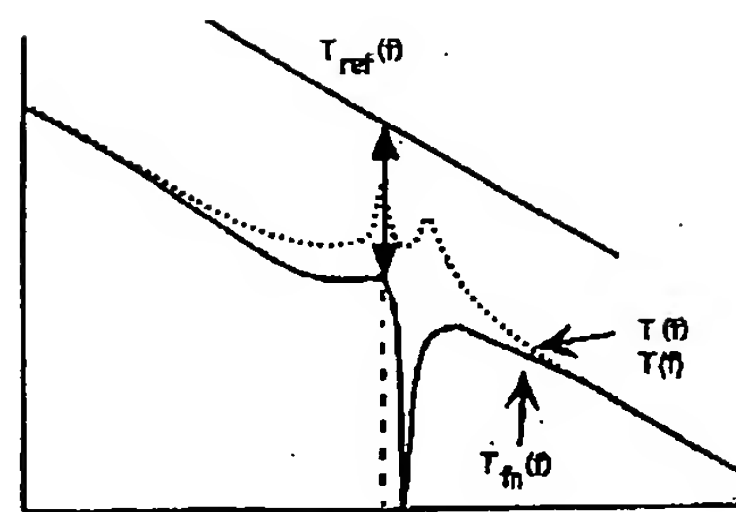
【図 5】



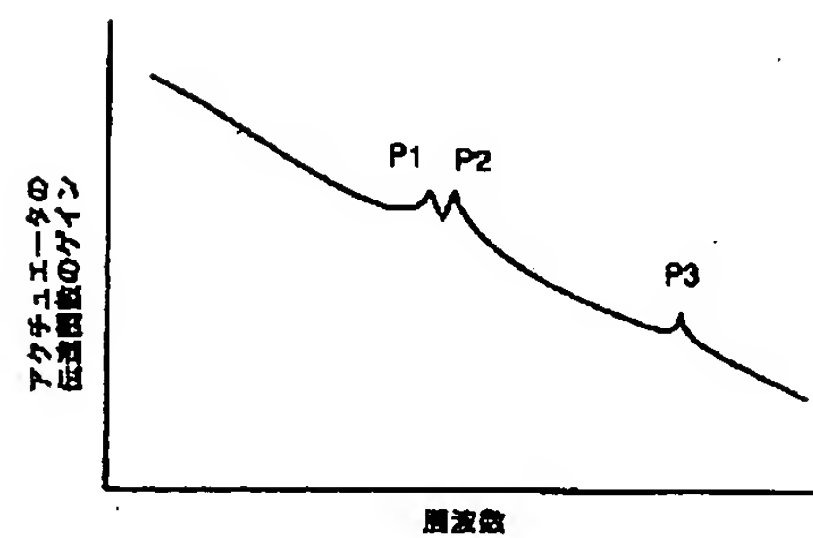
【図7】



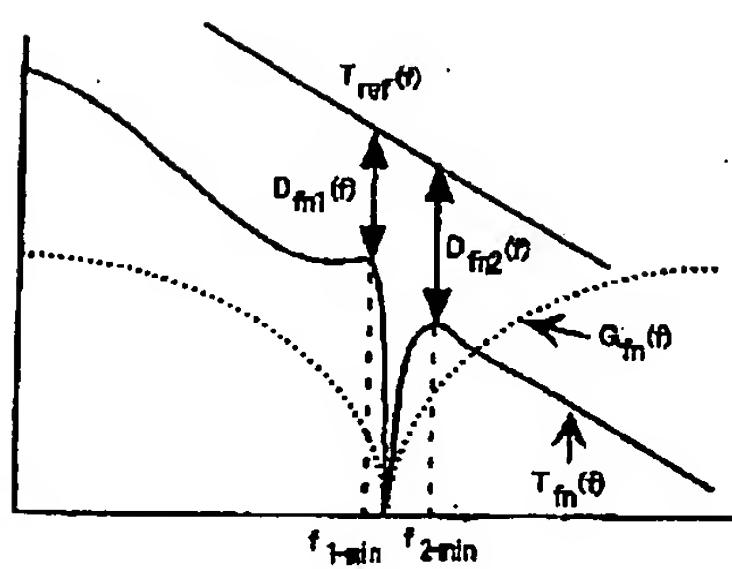
【図9】



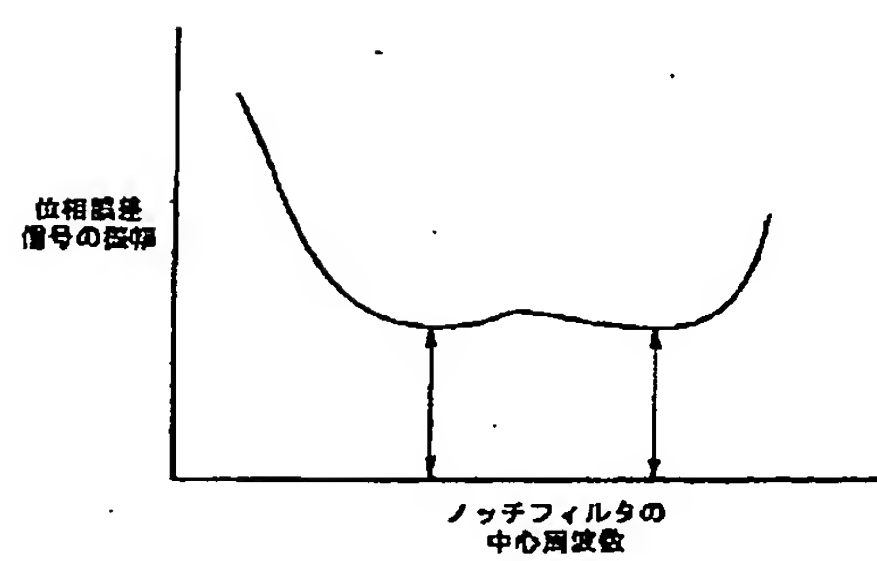
【図13】



【図10】

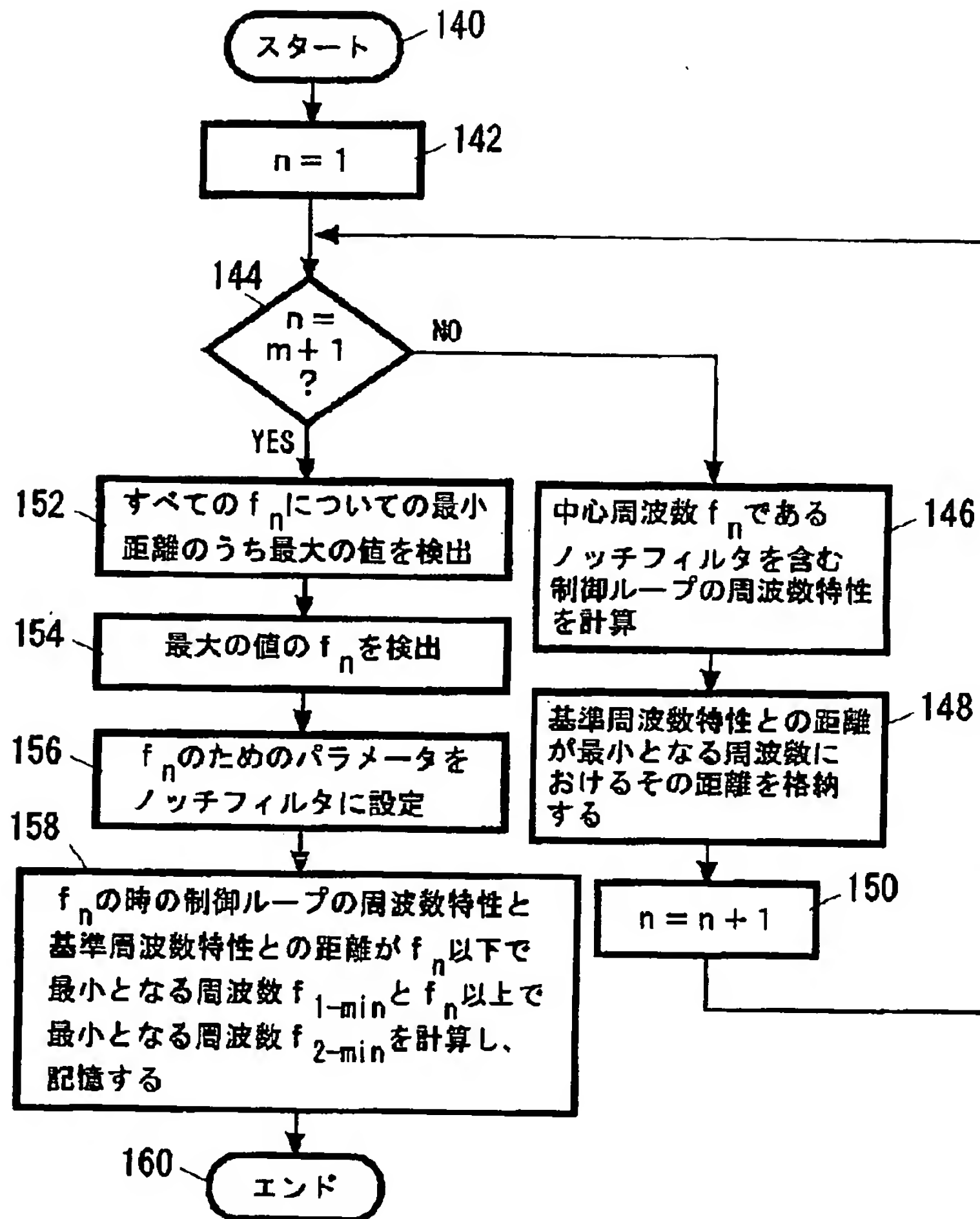


【図12】

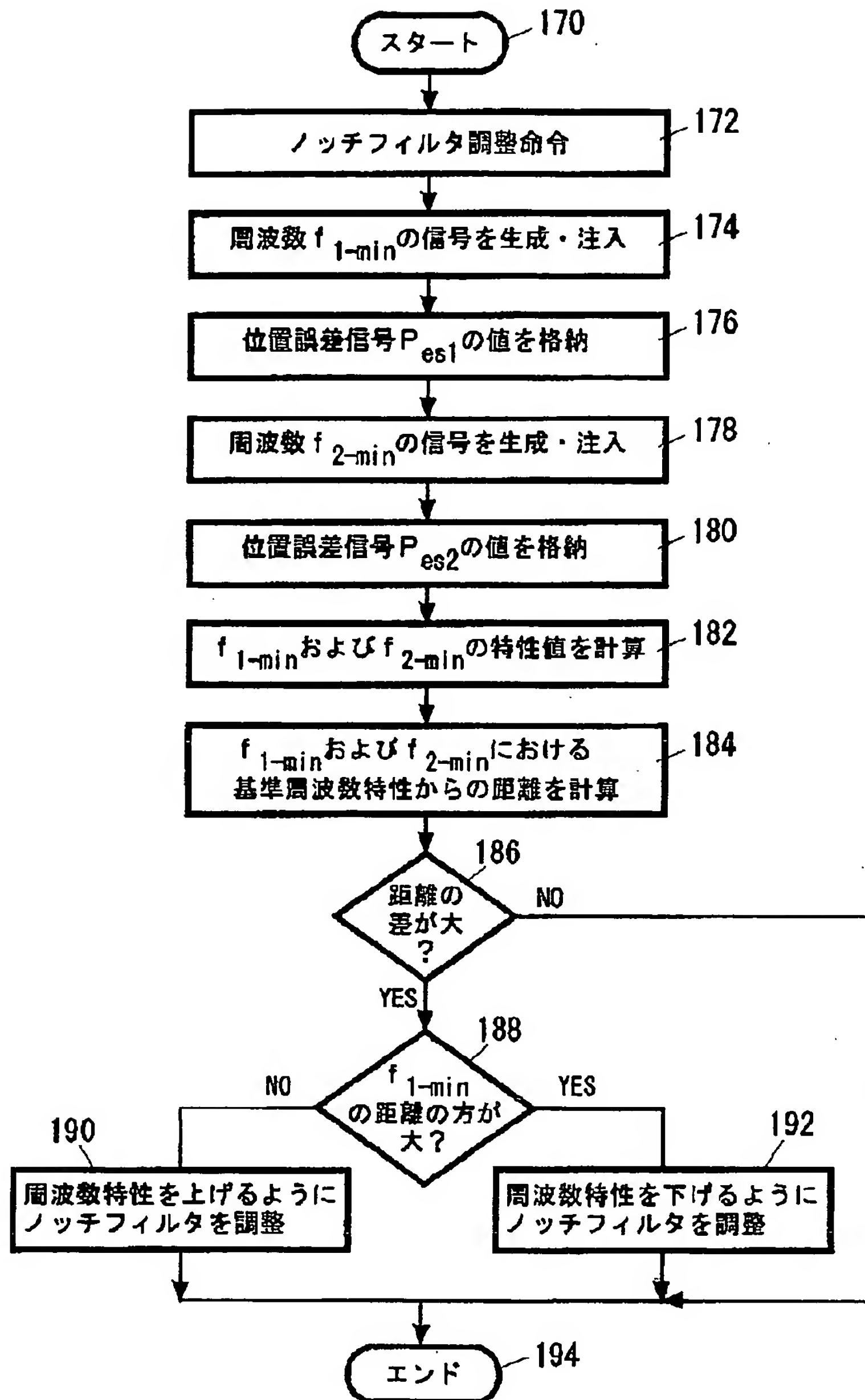




【図 8】



【図 11】



## 【手続補正書】

【提出日】平成10年6月11日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正内容】

【0002】

【従来の技術】ハードディスク装置などのヘッドの位置決め制御において、アクチュエータの機械的共振のうち、サーボ帯域周波数より高い数kHz程度の周波数に存在するものは、そのピーク振幅が大きいため、ノッチフィルタなどで抑圧しなければ安定なサーボループが構成できない。このノッチフィルタの特性は、固定の中心周波数で、固定のQのデジタル・フィルタやアナログ

・フィルタを用いるのが一般的である。ノッチフィルタの中心周波数にアクチュエータの共振周波数を選べばよいが、Qを小さ目に選んで、共振を抑圧できる周波数を広くとると、ノッチフィルタの中心周波数より低い周波数に存在するサーボ帯域周波数での位相遅れが大きくなる。これではサーボループの位相余裕が減少し、制御性能を劣化させるので、なるべく大きなQで、中心周波数が常に共振周波数に一致したノッチフィルタが望ましい。しかし、アクチュエータの共振周波数には固体のばらつきがある上に、温度で変化するので、ノッチフィルタのQは小さめに設定し、少々共振周波数がずれても共振を抑圧できるようにマージンを持って設計されている。そのため、アクチュエータを設計する上で、ばらつきや温度変化を小さくすることはもちろんであるが、共振の大きさをなるべく小さく、かつその周波数を高くする必要はある。しかし、ハードディスク装置のディスクの枚数が増えると、アクチュエータの質量が増えるので共振周波数が低下し、さらにディスクの回転数が高くなると、サーボ帯域が上昇するので、この問題はノッチフィルタにとって不利な方向に進んでいる。

#### 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正内容】

【0004】まずシーク動作終了直後のヘッド位置誤差信号を利用する方法は、特開平 1 - 2 3 5 0 8 2 号公報に開示されている。この公報は、光ディスク装置のノッチフィルタの調整方法に関する発明で、機構系の共振周波数と共振値を得るために、サーボのゲインやノッチフィルタの中心周波数をスイープさせて、ヘッドの位置ずれ信号が最小になる点を求める方法である。この手法を現実に応用する場合には問題が多い。すなわち、機構系の共振は唯一とは限らず、いくつかの共振の影響が位置ずれ信号に現れる。その時、位置ずれ信号が局所的に最小になる点が例えば図 1 2 のように複数現われる。それらの点のうちどれが最小になるかは装置の温度、機構の可動部の摩擦などの状態によって左右される。さらに、本公報の図 2 にある 2 次関数のようなはっきりした最小値が出ずに、最小値の領域が平坦になって最小値の誤差が非常に大きな周波数の誤差になる場合が多い。つまり、信頼できる共振周波数を検出するのは非常に困難である。また、測定する際には、制御ループのゲインを変化させるために、制御系が不安定になりやすく、場合によってはアクチュエータなどの機械要素にダメージを与えかねない。

#### 【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正内容】

【0006】また、特開平 5 - 3 1 3 7 5 1 号公報においても、アクチュエータの伝達関数を利用する方法が述べられている。この発明は特開平 5 - 1 0 9 2 1 7 号公報に酷似しており、請求項に「該取得した利得変化特性が所定の特性からずれた波形の最大値と、該波形の最大値の周波数と、該波形の幅とを検出し、このずれた波形を打ち消す周波数特性を演算して前記ノッチフィルタの定数を設定し直す。」とあるように、伝達関数のピークを検出し、それをノッチフィルタの中心周波数とし、そのQは共振ピークの幅を用いている。複数のピークのある場合の対処は公報の段落番号 0 0 2 9 に「ピークが一つではないなど多岐に渡る場合があるが、一般論としては、ノッチフィルタのF1とF2を算出して、この範囲内にある利得のピークを包括するようなダンピング・デプスGを決定すれば、解決する」と述べられている。しかし、実際の周波数特性は公報の図 3 (B) のようなスムーズな形にならないために、F1とF2の正確な検出が困難であるので、結果的にノッチフィルタのQの精度が悪い。また、ノッチフィルタの中心周波数は最大のピークの周波数にセットされ、他方のピークはノッチフィルタの幅を広げることで押え込むため、ノッチフィルタのQが必要以上に低めに設定されることにより、サーボループの位相余裕が減少して、制御特性が劣化する問題がある。

#### 【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正内容】

【0035】次に、 $f_{01}$ を中心周波数とするノッチフィルタの周波数特性を計算する。これは、メモリ 2 3 に格納されている  $f_{01}$  を中心周波数とする場合のノッチフィルタの係数から求められる。なお、 $f_{02}$  を中心周波数とするノッチフィルタの周波数特性も同様に求めて求められる。計算は、以下のようなものである。

【数 3】

$$G_{\text{notch1}}(f) = \frac{b_0 e^{j4\pi f T_s} + b_1 e^{j2\pi f T_s} + b_2}{e^{j4\pi f T_s} + a_1 e^{j2\pi f T_s} + a_2}$$

なお、 $T_s$  は、サンプリング周期を示す。また、 $f_{02}$  を中心周波数とするノッチフィルタの周波数特性は  $G_{\text{notch2}}(f)$  となる。



フロントページの続き

(72)発明者 各務 直行  
神奈川県藤沢市桐原町 1 番地 日本アイ・  
ビー・エム株式会社 藤沢事業所内

(72)発明者 時園 晃  
神奈川県藤沢市桐原町 1 番地 日本アイ・  
ビー・エム株式会社 藤沢事業所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**